

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Daus, Philipp; Sepri, Maila; Biskup, Frank; Arlit, Raphael

Auslegung und Evaluierung eines Rotordesigns für Gezeitenströmungsanlagen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103621>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Daus, Philipp; Sepri, Maila; Biskup, Frank; Arlit, Raphael (2011): Auslegung und Evaluierung eines Rotordesigns für Gezeitenströmungsanlagen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserkraft mehr Wirkungsgrad + mehr Ökologie = mehr Zukunft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 45. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 335-345.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Auslegung und Evaluierung eines Rotordesigns für Gezeitenströmungsanlagen

Frank Biskup, Philipp Daus, Raphael Arlitt

Der Artikel gibt im ersten Teil eine Einführung in die Technologie der Gezeitenströmungsanlage von Voith Hydro Ocean Current Technologies, beschreibt die Möglichkeiten der Auslegung der Teilkomponente Rotor der Turbine mit den in der Industrie gängigen Theorien und stellt die Besonderheiten der Optimierungsziele dar. Im zweiten Teil wird auf die notwendigen Evaluierungen der rein theoretischen Erkenntnisse mit experimentellen Untersuchungen eingegangen.

The technology of Voith Hydro Ocean Current Technologies tidal current turbine is relying on simplicity and robustness. This philosophy results in a technical solution which has a need for a special design of the rotor. In the first part this article gives a rough overview of Voith Hydro Ocean Current Technologies technology and the special requirements of the component rotor. The second part focuses on the design targets and the following need for evaluation of the performed theoretical analysis with experimental component tests.

1 Einleitung

Der ansteigende Ausstoß von klimaverändernden Emissionen und die immer knapper werdenden Energieressourcen erfordern innovative Lösungen, um auch bis jetzt ungenutzte erneuerbare Energieformen – wie die Gezeitenströmungsenergie – technisch zu realisieren. Die extremen Umweltbedingungen der Weltmeere stellen für die Installation eines Kraftwerks in dieser Umgebung deutlich größere Herausforderungen dar, als für ein Kraftwerk an Land.

Die Firma Voith Hydro Ocean Current Technologies (VHOCT) verfolgt das Konzept einer Gezeitenströmungsanlage, welche sich in drei Hauptkomponenten unterteilen lässt: Haltestruktur, Turbine und die Installations- und Wartungsausrüstung. Der Fokus in diesem Artikel liegt auf der Turbinenkomponente, welche ein einzigartiges Konzept darstellt, das bis dato eine Besonderheit in der Industrie ist: Der konsequente Verzicht auf technische Komplexität und die damit angestrebte Robustheit gegenüber den extremen Umweltbedingungen hat eine Erhöhung der Zuverlässigkeit als Ziel. Dieser

Verzicht bringt aber auch einige besondere Anforderungen an die einzelnen Komponenten der Turbine mit sich. Anhand der Turbinenkomponente Rotor werden die besonderen Anforderungen und die Auslegung mit den in der Industrie standardmäßig verwendeten Tools erläutert.

2 Technologie

Bei der Auslegung der VHOCT Gezeitenströmungsanlage wird besonderer Wert auf die Robustheit und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems gelegt. Ein Verzicht auf bewegliche Teile, Getriebe, Öle und rotierende Dichtungen in der Turbine hat zur Folge, dass die gesamte Turbine mit Wasser durchströmt wird und sich nur aus zwei beweglichen Komponenten zusammensetzt, der Rotorwelle und der aus Sicherheitsgründen im Prototyp verbauten Bremse. Der konsequente Verzicht führt zu einem besonderem Turbinenkonzept von VHOCT, was in einem schematischen Querschnitt in Abb. 1 dargestellt ist. Dieses Konzept ist in einem ersten Prototyp (Abb. 2) verwirklicht.

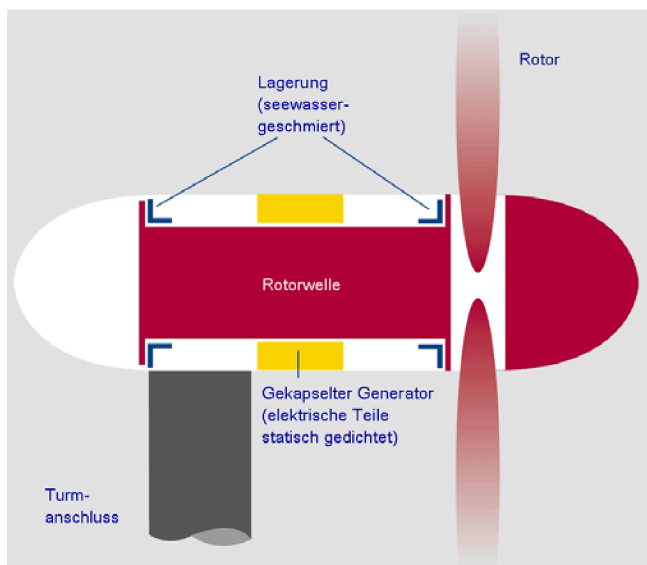


Abb. 1 Schematischer Querschnitt durch die Voith Hydro Turbine



Abb. 2 Voith Hydro Prototyp während der Herstellung

Die wichtigsten Merkmale der Turbine sind:

- Ein direkter Antrieb des Generators durch den Rotor.
- Ein permanent magnetisch erregter Generator ohne den Einsatz von rotierenden Schleifringen und komplexer statischer Erregung.
- Ein gezielt gelenkter Wasserstrom durch die Turbine führt zu einem direkt gekühlten Generator und einem Verzicht auf rotierende Dichtungen.

- Die Lagerung der rotierenden Teile wird direkt durch das Seewasser, ohne zusätzliche Schmiermittel gewährleistet.
- Ein kompletter Verzicht auf Öl und Schmiermittel in der Turbine reduziert die möglichen Umwelteinflüsse.

Diese Anlagenphilosophie prägt auch die Auslegung des Rotors. Die Anforderung auf bewegliche Teile und komplexe Elektronik zu verzichten, führt zusätzlich zu dem Verzicht auf die allgemein für Windkraftanlagen bekannte Regelung durch den Blattwinkelverstellmechanismus, kurz „Blattwinkelverstellung“ (engl. „Pitch“).

- Die Leistungsregelung wird über das Drehmoment als Drehzahlregelung mit fest eingebauten Rotorblättern verwirklicht.

Analysen von Gezeitenströmungsstandorten zeigen deutliche ausgeprägte Wechsel der Strömung um 180° . Auch geringe Abweichungen von der Hauptströmungsrichtung führen nur zu einer geringen Reduktion des möglichen Jahresenergieertrages. Dies führt zu dem Verzicht des Strömungsnachführungsmechanismus, kurz „Giermechanismus“ (engl. „Yaw“). Obige Anforderungen machen jedoch eine klassische Auslegung mit Standardprofilen nicht mehr möglich und erfordern spezielle

- symmetrische Profilformen für den Rotor, welche für dieses Einsatzgebiet auf hohen Wirkungsgrad und einen breiten Arbeitsbereich optimiert sind.

Zusätzlich ist eine vorausschauende Berücksichtigung des Rotorverhaltens und der auftretenden Belastungen durch den Rotor in der Auslegung unerlässlich, auf welche jetzt eingegangen wird. Für weitere Details zu der Gezeitenressource und das VHOCT Gezeitenströmungsanlagenkonzept siehe auch [Ruprecht, Weilepp].

2.1 Theoretische Grundlagen des Rotors

Für die Beurteilung eines Rotors werden die charakteristischen Kennlinien für Leistung und Schub hergenommen. Um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten sind die charakteristischen Kennlinien für eine „klassische“ langsamläufige und schnellläufige Auslegung in Abb. 3 dargestellt [vgl. Gasch]. Alle Kennlinien werden normalisiert dargestellt. Die Kennlinien werden dimensionslos über der Schnelllaufzahl λ oder engl. „Tip Speed Ratio“ TSR (Glg. (2.1)) dargestellt, welche dem Verhältnis der Blattspitzengeschwindigkeit zur ungestörten Anströmgeschwindigkeit entspricht und aus der Winkelgeschwindigkeit ω , dem Radius an der Blattspitze R_{tip} und der axialen, ungestörten Anströmgeschwindigkeit v_{axial} gebildet wird.

$$\text{TSR} = \frac{\omega \cdot R_{\text{tip}}}{v_{\text{axial}}} [-] \quad (2.1)$$

Der dimensionslose Leistungsbeiwert c_p (Glg. (2.2)) gibt die Leistungsabgabe des Rotors über der Drehzahl, bezogen auf die in der Strömung vorliegende Leistung wieder.

$$c_p = \frac{P_{\text{power}}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{\text{axial}}^3 \cdot \pi \cdot R_{\text{tip}}^2} [-] \quad (2.2)$$

Der dimensionslose Schubbeiwert c_s (Glg. (2.3)) ist die axiale Kraftkomponente (Schub) des Rotors, bezogen auf die Druckkraft einer geschlossenen Scheibe mit gleichem Durchmesser.

$$c_s = \frac{F_{\text{axial}}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{\text{axial}}^2 \cdot \pi \cdot R_{\text{tip}}^2} [-] \quad (2.3)$$

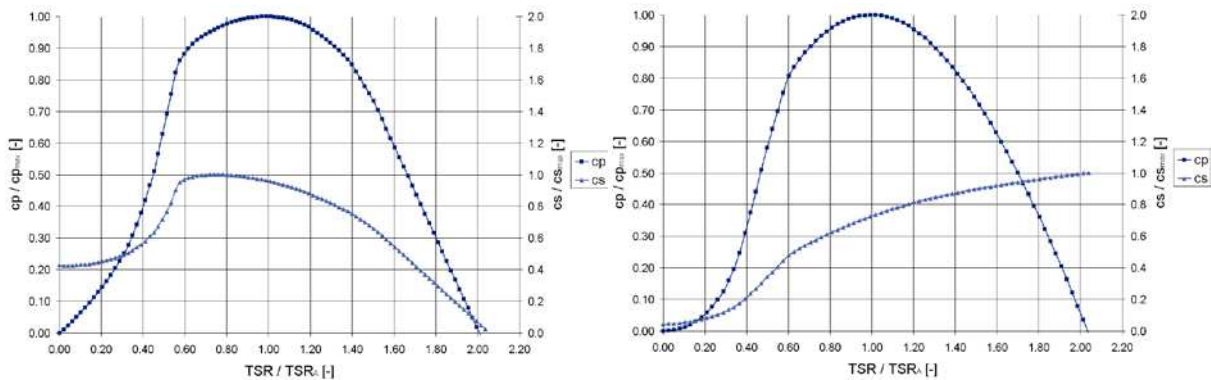


Abb. 3 Normalisierte Leistungsbeiwert- und Schubkennlinie eines „klassischen“ langsamläufigen (links) und schnellläufigen (rechts) Rotordesigns [Gasch]

2.2 Abhängigkeit des Rotorwirkungsgrades von der Profilleitzahl

Die Rotorcharakteristik wird zu einem hohen Teil durch seine Profilform am Rotorblatt bestimmt. Die charakteristischen Größen einer Profilform sind unter anderem der Auftriebsbeiwert C_l , der Widerstandsbeiwert C_d und die Druckverteilung über die Lauflänge am Profil $c_{p_{\text{profil}}}$. Die Effizienz des Profils wird dabei anhand der Profilleitzahl LDR (engl. LDR „Lift to Drag Ratio“ Glg. (2.4)) als Quotient des Auftriebs- und Widerstandsbeiwertes bewertet.

$$\text{LDR} = \frac{C_l}{C_d} [-] \quad (2.4)$$

Berechnet man nach Schmitz [Gasch, Seite 208] den theoretisch maximal möglichen dimensionslosen Leistungsbeiwert c_p des Rotors nach Glg. (2.5), unter Berücksichtigung der Verluste durch den Widerstand des Profils η_{profil} und der Blattspitzenverluste $\eta_{\text{Blattspitze}}$, so ist dieser direkt abhängig von der Blattanzahl z , der Profilleitzahl LDR und der Auslegungsschnelllaufzahl TSR_A .

$$c_{p, \text{real}}(z, \text{LDR}, \text{TSR}_A) = c_{p, \text{schmitz}} \cdot \eta_{\text{profil}} \cdot \eta_{\text{Blattspitze}} [-] \quad (2.5)$$

Es zeigt sich dann, für einen für Gezeitenströmungsturbinen idealen Bereich einer Auslegungsschnelllaufzahl von 3 bis 8, eine geringe Abhängigkeit des maximal erreichbaren Rotorleistungsbeiwertes von der Profilleitzahl (Abb. 4).

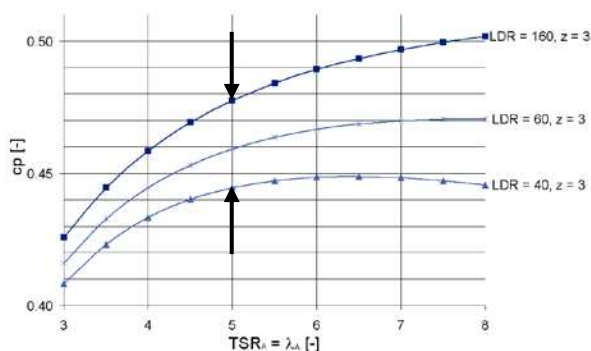


Abb. 4 Idealer Leistungsbeiwert c_p eines Rotors in Abhängigkeit von LDR und TSR_A [Gasch]

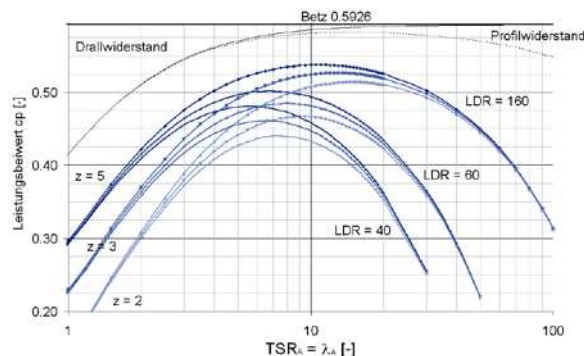


Abb. 5 Ideale Leistungsbeiwerte nach Glg. (2.5) in Abhängigkeit von TSR_A , LDR und Blattanzahl z

So erreicht theoretisch hier ein exemplarisches Profil bei einer guten Profilleitzahl von $\text{LDR} = 60$, einem Rotornabenverhältnis von $h = 0.2$ und einer Auslegungsschnelllaufzahl von $\text{TSR}_A = 5$ einen c_p -Wert von $c_p = 0.46$. Eine Erhöhung der Gleitzahl auf theoretische $\text{LDR} = 160$, um 266%, lässt den theoretisch möglichen c_p -Wert auf $c_p = 0.478$ steigen, was „nur“ 3.9% Steigerung entspricht. So zeigt sich auch bei einer Verschlechterung der Profileigenschaften auf $\text{LDR} = 40$ (-33.33%) eine Erniedrigung auf einen c_p -Wert von 0.445 was „nur“ -2.3% entspricht. Diese Effekte stellen sich bei einer Auslegungsschnelllaufzahl von $\text{TSR}_A = 8$ anders dar und das Profil mit dem höheren Wirkungsgrad führt zu höheren Leistungsbeiwertgewinnen des Rotors. Die Einflüsse der Profilleitzahl sind bei geringen Auslegungsschnelllaufzahlen nach Glg. (2.5) (siehe Abb. 5) nicht vorhanden und nehmen mit zunehmender Auslegungsschnelllaufzahl bis zu einem gewissen Punkt weiter zu. Bei sehr hohen Auslegungsschnelllaufzahlen dominiert hingegen nur noch die Profilleitzahl. Dies bedeutet, dass bei jeder Auslegungsschnelllaufzahl, eine Profilleitzahl und eine Blattanzahl zu dem höchstmöglichen Leistungsbeiwert des Rotors führt.

Damit lässt sich sehr schnell die Auswirkungen auf das Design der Gezeitenströmungsturbine erklären. Profilformen mit $\text{LDR} = 160$ sind theoretisch möglich, bedürfen jedoch einiger extra Modifikationen wie z.B. Grenzschichtabsaugung und einem hohen Maß an Pflege um diese hohen Gleitzahlen dauerhaft im Betrieb zu erzielen. Dies ist aber praktisch für den Einsatz unter Wasser mit möglichem marinen Bewuchs und sehr turbulenter Zuströmung fast unmöglich machbar. Falls es dennoch möglich ist die

hochsensiblen und effektiven Profilformen mit einer Gleitzahl von $LDR > 80$ einzusetzen, bedarf es trotzdem noch einer Erhöhung der Auslegungsschnelllaufzahl des Rotors um die Effekte des hocheffizienten Profils bestmöglich zu nutzen.

Diese Grundlagen bedeuten, dass die Wahl der Blattanzahl auf die verwendeten Profilformen und die Umgebung abgestimmt werden muss. Jedoch müssen auch noch andere Faktoren berücksichtigt werden.

Exemplarisch liegt der erreichbare Leistungsbeiwert des Rotors bei mehr verwendeten Rotorblättern geringfügig höher und die Auslegungsschnelllaufzahlen niedriger als bei einem vergleichbaren Rotor mit weniger Rotorblättern. Möchte man z.B. auf dem gleichen Leistungsbeiwertniveau bei einem Dreiblatt- wie Zweiblattrotor sein, können die ideale Schnelllaufzahl und die Profilgleitzahl anstatt mit $TSR_A = 10$ und $LDR = 60$ (Abb. 5) bei einem Zweiblattrotor, bei einem Dreiblattrotor mit $TSR_A = 6$ und $LDR = 40$ für den gleichen Leistungsbeiwert c_p ausgeführt werden. Zusätzlich sind unter dynamischen Betrachtungen Rotoren mit mehreren Blättern gleichmäßiger mit den Massen- und hydrodynamischen Kräften verteilt als Rotoren mit weniger Blättern, was geringere Belastungen der folgenden Turbinenkomponenten erzeugt [Gasch].

Betrachtet man fertigungstechnische Aspekte können jedoch die ansteigenden anregenden Frequenzen von mehr Rotorblättern eines Rotors, die ansteigende Masse und die steigende Komplexität, Bauraum und Belastung für den Blattanschluss eine Grenze für die Blattanzahl darstellen. Auch wirtschaftliche Aspekte sind nicht zu vernachlässigen, so sind durch mehr Rotorblätter auch höhere Kosten für den Rotor und durch niedrigere Drehzahlen mehr Kosten für den Generator notwendig.

3 Evaluierung des Rotordesigns

3.1 Profilentwicklung von beidseitig anströmbaren Profilformen

Durch die Anforderungen an den Rotor ist es notwendig von der normalen Profilsystematik abzuweichen. Dabei stand die Neuentwicklung von beidseitig gleich anströmbaren Profilformen mit hoher Effizienz im Mittelpunkt. Dies konnte im ersten Schritt durch analytische Optimierungsalgorithmen und in einem zweiten Schritt dahintergeschalteten numerischen 2D-CFD Optimierungen (engl. CFD „Computational Fluid Dynamics“) erreicht werden. Eine schematische Darstellung des Vorgehens ist in Abb. 6 dargestellt. Schon in dieser Optimierungsphase werden weitere Optimierungsziele wie z.B. das Verhalten im Abrisspunkt, das Verhalten bei marinen Bewuchs und auch die

Druckverteilungen analysiert und bewertet. Auf die bei VHOCT, in Zusammenarbeit mit dem Institut für hydraulische Strömungsmaschinen der Universität Stuttgart, entwickelten Prozeduren wird in dieser Veröffentlichung nicht weiter eingegangen.

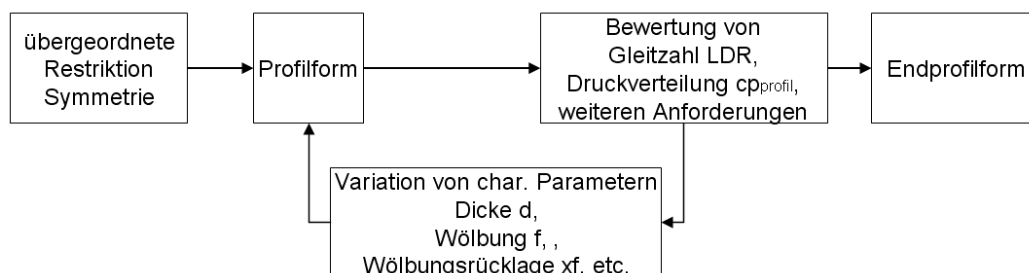


Abb. 6 Entwicklungszyklus symmetrische Profilform

Im abschließenden dritten Schritt werden die erhaltenen Profilformen selektiert und auf eine bzw. zwei Profilformen reduziert.

3.2 Profilvermessung

Die aus der Profilentwicklung für symmetrische Profile erhaltene Profilformen werden im Modellmaßstab mit einer Sehnenlänge von $L = 600\text{mm}$ als quasi-2D Modell aus einer Glasfaser-Holz Konstruktion gefertigt. Dabei wird die Außenhaut in Glasfaser-sandwichbauweise und das Innenskelett in Holz ausgeführt (Abb. 7). Zusätzlich werden auf der Profiloberfläche feine Druckbohrungen mit einem Durchmesser von $D = 0.3\text{mm}$ angebracht und jede dieser Bohrungen mit einem Druckmesssystem verbunden. An der Profiloberfläche lassen sich durch anbringen unterschiedlicher Störquellen verschiedene Oberflächenstrukturen verwirklichen und das Verhalten der charakteristischen Kenngrößen vermessen. Die Profilvermessungen werden in einem Windkanal durchgeführt, dabei können nur in einem bestimmten Maße die Modellgesetze, wie die Reynoldszahlähnlichkeit

$$\text{Re}_{\text{Original}} = \text{Re}_{\text{Modell}} \quad \text{Re} = \frac{u \cdot L_{\text{char}}}{\nu} [-] \quad (3.1)$$

eingehalten werden, da die berechneten Reynoldszahlbereiche im Prototyp und der Großausführung einer Gezeitenströmungsturbine in dem Bereich von $\text{Re} = 3 \cdot 10^6$ bis zu $\text{Re} = 20 \cdot 10^6$ an den Profilschnitten des Rotors betragen können.

Für die Vermessung der charakteristischen Größen werden zwei gängige Methoden eingesetzt. Die erste Methode ermittelt über Druckbohrungen an der Windkanalwand und einen Nachlaufrechen die Werte. Die zweite Methode nutzt die feinen und hochsensiblen Druckbohrungen an der Profiloberfläche um ein genaues Bild der Druckverteilung am Profil zu liefern.

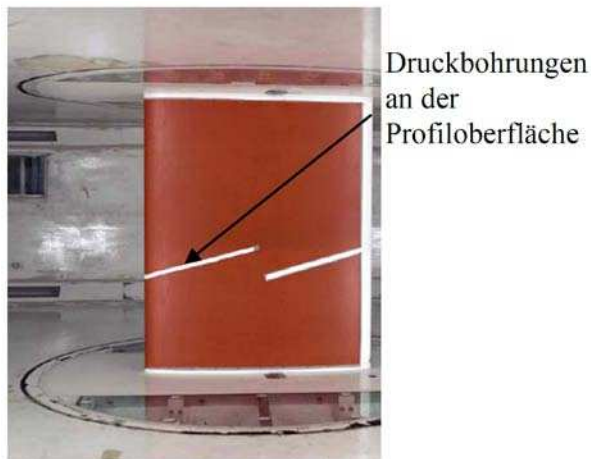


Abb. 7 Eingebautes Profil (weiß) mit simulierten marinem Bewuchs (orange) im Windkanal

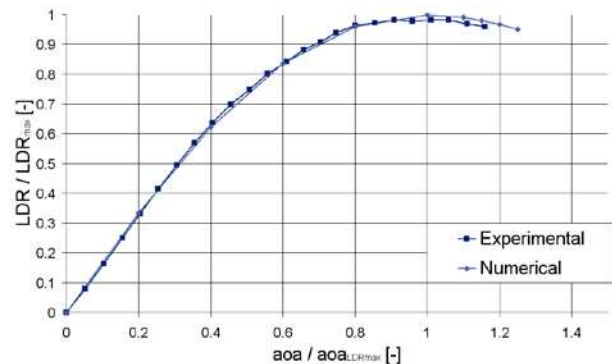


Abb. 8 Übereinstimmung der numerischen 2D-CFD mit den experimentellen Ergebnissen. Normalisiert dargestellt.

Bei der Vermessung der charakteristischen Kenngrößen der Profilformen steht die Validierung der entwickelten Prozeduren und deren Ergebnisse im Vordergrund. Vergleicht man die durch die Berechnungsmethoden gewonnenen Ergebnisse mit den experimentell gemessenen Daten, so zeigen sich gute Übereinstimmungen (Abb. 8) in den qualitativen Verläufen, wie auch in den quantitativen Höhen der einzelnen Messwerte über dem Anstellwinkel (engl. aoa „angle of attack“). Diese Übereinstimmungen sind gewünscht und bestätigen die entwickelten Berechnungsmethoden und ermöglichen eine Skalierung der Ergebnisse auf die Randbedingungen des Prototyps. Nach dem Erhalt dieser Daten kann mit der Auslegung des Rotors und der Berechnung der charakteristischen Rotorkennlinien begonnen werden.

3.3 Rotorentwicklung

Die berechneten und validierten Datensätze aus der 2D-Profilvermessung bilden die Basis für eine zuverlässige Aussage über das spätere Rotorverhalten. Mit diesen Datensätzen wird dann für die Auslegung des Rotors auf die in der Literatur gängigen Blattelementtheorie nach Betz bzw. Schmitz zurückgegriffen [Gasch]. Grundsätzlich funktioniert die Theorie mit den Standardannahmen auch für Gezeitenströmungsrotoren, jedoch haben sich aus den zahlreichen Versuchen einige Modifikationen in den hinterlegten empirischen Annahmen ergeben.

Für die Auslegung des Rotors wird in besonderem Maße Wert auf die auftretenden Lasten des Rotors gelegt, und als Besonderheit in einem eigens dafür entwickelten Optimierungstool mit berücksichtigt. Durch diese vorläufige Lastsimulation entsteht ein Lastkollektiv mit Berücksichtigung von Effekten wie Grenzschicht, Turbulenzen und Wellen. Dieses Lastkollektiv wird durch

vorläufige Festigkeitsberechnungen verwendet und die absolute Dicke des Rotorblattes in die Optimierung und den Auslegungszyklus eingespeist. Mit dieser Einspeisung werden größere Korrekturen der endgültig gefertigten hydrodynamischen Kontur im Vergleich zur Auslegung vermieden. Eine schematische Darstellung des Vorgehens ist in Abb. 9 dargestellt.

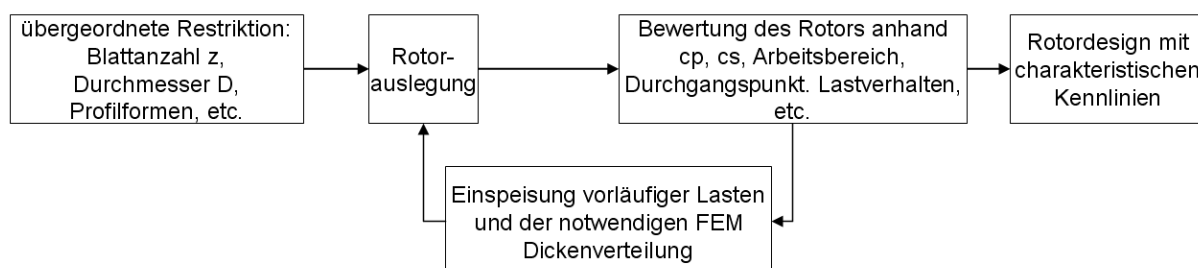


Abb. 9 Entwicklungszyklus Rotor

In dieser Phase kommen für einige selektierte Rotorgeometrien numerische Berechnungen zur Überprüfung der analytischen Ergebnisse zum Einsatz. Für den Rotor werden 3D-CFD Berechnungen durchgeführt, um die auftretenden 3D-Effekte besser abzubilden. Diese 3D-CFD Berechnungen ermöglichen im letzten Schritt Detailoptimierungen der Rotorblattform. Des Weiteren dienen die 3D-CFD Berechnungen zur Abbildung weiterer hydrodynamisch wirksamer Komponenten wie der Anströmhaube, der Gondel und der Haltestruktur (Abb. 10). Durch die Simulation dieser Komponenten können Optimierungen des Rotors oder der gesamten Turbine durchgeführt werden, welche auf Basis der gängigen Blattelementtheorie nicht möglich sind.

3.4 Rotorvermessungen

Für die Validation des Vorgehens bei der Auslegung, der angewandten Berechnungsmethoden und zur Bestätigung des Rotorkonzeptes („Proof of concept“) wird der ausgewählte Rotor in Modellmaßstab gefertigt. Der Durchmesser des Modells beträgt $D = 400\text{mm}$ und der Rotor wird komplett aus dem Material Messing mit einer Hochgeschwindigkeits-CNC-Fräsmaschine gefräst. Das gefertigte Modell wird in zwei Messreihen im Wasser mit ähnlicher Konfiguration zum Einsatz gebracht. Bei den Messstrecken handelt es sich zum einen um einen offenen Schlepptankversuch mit einem über 200m langen Wasserbecken und zum anderen um eine geschlossene Messstrecke in einem Umlaufkanal. Die Instrumentierungen sind unterschiedlich und ermöglichen somit den Rückschluss auf die charakteristischen Kennlinien des Rotors über zwei unabhängige Wege. Beide Versuchsreihen müssen für Vergleichbarkeitszwecke im Modellmaßstab analytisch und numerisch (3D-CFD, Abb. 10) nachgerechnet werden, da hier durch Limitationen im Aufbau die Reynoldszahlanalogie, wie bei der 2D-Profilvermessung, nicht eingehalten

werden kann. Durch dieses Vorgehen lassen sich die notwendigen Modellkorrekturen zum Prototyp und der Großausführung bestimmen.

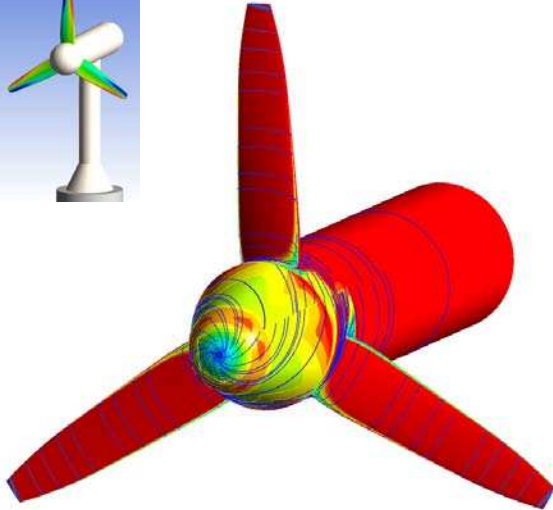


Abb. 10 3D-CFD Berechnungen des Rotors und weiterer Anbauteile



Abb. 11 Voith Hydro Gezeitenströmungsturbinenrotor im Modellmaßstab in Versuchseinrichtung montiert

Für die durchgeführten Messreihen stellen sich gute Übereinstimmungen mit den in der Analytik und Numerik (CFD) berechneten Rotorkennlinien ein. Die in Abb. 12 dargestellten Kennlinien sind exemplarisch aus einer Messreihe entnommen worden. Durch eingebrachte Restriktionen und Besonderheiten bewegt sich das VHOCT Konzept (Abb. 12) zwischen den beiden klassischen Rotorkonzepten (vgl. Abb. 3).

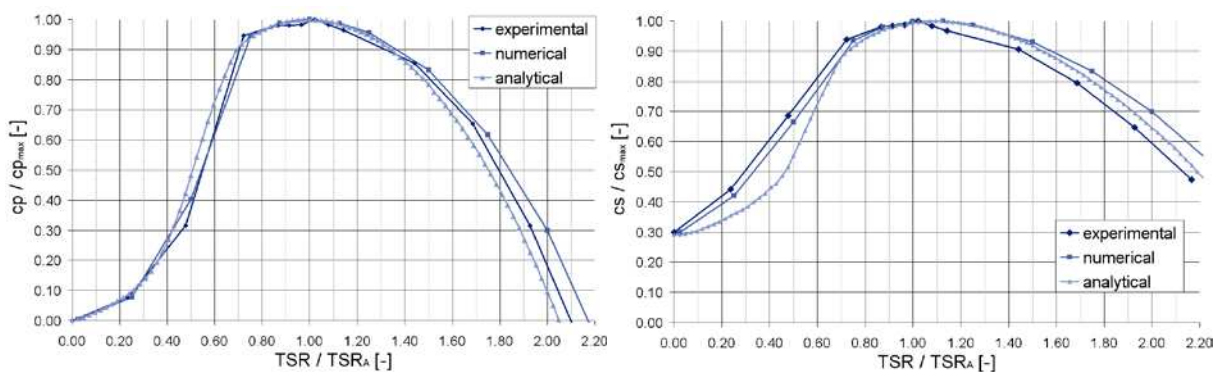


Abb. 12 Übereinstimmung der Rotorkennlinien im Modellmaßstab in der Analytik und Numerik (CFD) mit dem Experiment

4 Schlussfolgerung

Es werden einige Anstrengungen im Vorfeld für die Entwicklung der Komponente Rotor unternommen, um den Einsatz des ersten Gezeitenströmungsanlagenprototyps sicher und zuverlässig zu gestalten. Nach dem erfolgreichen Abschluss der Testreihen wird mit der Fertigung des Rotors begonnen. Zahlreiche weitere Komponenten sind in anderen Prüfständen umfangreichen Tests ausgesetzt worden und haben alle in sie gestellten Erwartungen der Ingenieure erfüllt oder übertroffen. Die abschließenden Ergebnisse aus dem Prototypbetrieb werden eine weitere experimentelle Vergleichskennlinie in den Diagrammen bilden und die abschließende Validation der vorgenommen Modellskalierungen in Abb. 12 darstellen. Für die noch sehr wenig erforschten Gebiete des Gezeitenströmungsanlagen ist es unbedingt notwendig die Berechnungsmethoden für dieses Umfeld zu überprüfen und nicht blind in die Analytik und Numerik zu vertrauen. Die Experimente werden auf dem Weg zu den nächsten Gezeitenströmungsanlagen als wichtige Kalibrierungen der Berechnungsmethoden dienen und die Berechnungsgenauigkeit im Vorfeld deutlich erhöhen. Dies trägt am Ende zu einer effizienteren und zuverlässigen Gezeitenströmungsanlagentechnologie bei und die Risiken von unerwarteten und kostspieligen Schäden an der Gezeitenströmungsanlage können reduziert werden.

Literatur

Ruprecht, A.; Weilepp, J.: Gezeitenströmungskraftwerke, Artikel Wasserwirtschaft 03/2009

Gasch, R.; Twele, J.: Windkraftanlagen - Grundlagen, Entwurf, Planung, Betrieb, 6. Auflage 2010

Autor / Kontakt:

Dipl.-Ing. Frank Biskup

Voith Hydro Ocean Current
Technologies GmbH & Co KG
Alexanderstraße 11
89522 Heidenheim, Germany

Tel.: +49 7321 37 7872
Fax: +49 7321 37 7350
frank.biskup@voith.com